

3. Обзор рынка магнезиального сырья (магнезита и брусита) и магнезитовых порошков в СНГ. 3-е изд. / INFOMINE Research Group. М. : ИнфоМайн, 2011. 137 с.
4. Зырянова В. Н. Использование магнийсодержащих отходов в производстве строительных материалов: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Зырянова. Новосибирск, 1987. 249 с.
5. Перепелицын В. А. Техногенное минеральное сырье Урала / В. А. Перепелицын, В. М. Рывтин, В. А. Коротеев и др. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 332 с.
6. Хуснутдинов В. А. Физико-химические основы технологии переработки нетрадиционного магнезиального сырья на чистый оксид и другие соединений магния: дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Хуснутдинов. Казань, 2000. 434 с.
7. Прокофьева В. В. Магнезиальные силикаты в производстве строительной керамики / В. В. Прокофьева, З. В. Багауцинов. СПб. : Золотой орел, 2005. 160 с.
8. Хорошавин Л. Б. Магнезиальные огнеупоры: справочник / Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицын, В. А. Кононов. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 576 с.
9. Kramer D. A. Current mining of olivine and serpentine // U. S. Geological Survey Open-Pile Report, Reston. Virginia, 2002. 256 p.
10. Mark A. Shand The Chemistry and technology of magnesia (2006) John Wiley&Sons, Inc. 191 p.
11. Shand M. A. The Chemistry and Technology of Magnesia. John Wiley & Sons, Inc., 2006. 286 p.

УДК 621.78

Горшенин А. С., Равилова Р. Р.
Самарский государственный технический университет
andersonag1@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРУЕМОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Аннотация. В работе приведены результаты математического моделирования охлаждения алюминиевых слитков после термической обработки. Приведена математическая модель конвективного теплообмена. Наличие такой модели позволяет проводить аналитическое исследование охлаждения слитков.

В настоящее время все возрастающими темпами увеличивается ассортимент и объемы проката, получаемого из алюминиевых слитков. Анализ технологии производства цилиндрических слитков методом полунепрерывного литья в водоохлаждаемый кристаллизатор выявил главную проблему данного метода – образование неоднородной структуры слитка. Для ее устранения проводят термическую обработку слитков, одним из видов которой является гомогенизационный отжиг. Важным этапом термической обработки является охлаждение слитков после гомогенизации со скоростью, не превышающей критическую – 70 °С/ч для предотвращения закалки сплава.

Для изучения процесса охлаждения слитков в камере охлаждения автором была разработана математическая модель регулируемого конвективного теплообмена в системе алюминиевые слитки – охлаждающий воздух [1].

При разработке математической модели регулируемого конвективного теплообмена в системе алюминиевые слитки – охлаждающий воздух были приняты следующие допущения: 1) задача теплообмена принималась двухмерной; 2) теплообмен рассматривался в половине высоты канала δ и при омывании половины слитка; 3) температура воздуха t_B по высоте канала δ принималась одинаковой; 4) температура охлаждающего воздуха при омывании каждого слитка принималась постоянной; 5) теплообмен рассматривался для каждого отдельного слитка.

Математическая модель конвективного теплообмена в системе ряд горизонтальных алюминиевых слитков – охлаждающий воздух включает в себя расчетную схему (рис. 1), описание процесса теплообмена, ограничение по скорости охлаждения слитков (1), систему уравнений (2) и (3) по изменению температур слитков и воздуха

Описание процесса теплообмена. Процесс нагрева воздуха при охлаждении горизонтального ряда слитков количеством N основывается на решении уравнения охлаждения одного слитка [2]. В соответствии с принятыми допущениями теплообмен между воздухом и слитками рассчитывается отдельно для каждого слитка. В соответствии с этим каждый слиток начинает охлаждаться с одной и той же температуры T_0 . В соответствии с допущением о постоянстве температуры воздуха при омывании одного слитка, считаем, что его температура увеличивается скачком после омывания слитка. Так как температура воздуха t_B от слитка к слитку увеличивается, то перепад температуры между слитками и воздухом в ряду будет уменьшаться, то есть, каждый последующий слиток будет более горячим, чем предыдущий.

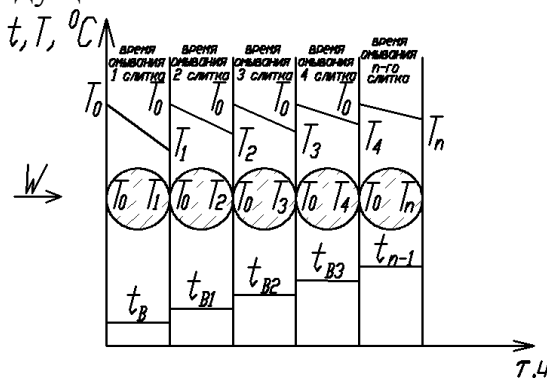


Рис. 1. Расчетная схема к математической модели

При разработке математической модели регулируемого конвективного теплообмена было принято ограничение по скорости охлаждения слитков $\frac{dT}{d\tau}$, которая в интервале температур $500 - 300^\circ\text{C}$ не должна превышать

$$\frac{dT}{d\tau} \leq 70^\circ\text{C}/\text{ч}, \quad (1)$$

Система уравнений (2) и (3) по снижению температур T_N каждого из алюминиевых слитков количеством N , расположенных в горизонтальном ряду и по увеличению температур воздуха t_{B_N} выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} t_{B_N} = t_{B_{(N-1)}} + \frac{c_{Pal}}{c_{P6}} \frac{m_{al}}{G_B} [(T_{(N-1)} - t_{B(N-1)}) - (T_0 - t_{B1}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo)] \\ T_N = t_{B_{N-1}} + (T_0 - t_{B_{N-1}}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo) \end{cases} \quad (2)$$

$$T_N = t_{B_{N-1}} + (T_0 - t_{B_{N-1}}) \exp(-4 \cdot Bi \cdot Fo) \quad (3)$$

В целях повышения качества продукции и предотвращения закалки алюминиевых слитков предложен алгоритм обеспечения номинальной скорости охлаждения каждого из алюминиевых слитков любого ряда во временной динамике процесса их охлаждения путем регулируемого конвективного теплообмена в горизонтальной камере охлаждения, учитывающий высоту канала между рядами слитков, их диаметр, изменение скорости воздуха в процессе охлаждения слитков в камере охлаждения.

Согласно уравнениям (2) и (3) математической модели температура воздуха при его течении от слитка к слитку увеличивается, а перепад температуры между слитками и воздухом в ряду наоборот уменьшаться. Тогда каждый последующий слиток будет иметь более высокую температуру, по сравнению с предыдущим. Это приводит к тому, что слитки будут недоохлаждаться, и для каждого последующего слитка величина недоохлаждения будет увеличиваться.

Учитывая это регулирование скорости охлаждения осуществляется путем регулирования скорости воздуха, сначала по температуре первого слитка до момента его охлаждения до 300°C , таким образом, чтобы она не превысила свое номинальное значение, то есть $T_l/\tau \leq 70^\circ\text{C/ч}$. После этого предлагается переходить на регулирование скорости охлаждения по второму слитку, путем изменения скорости воздуха, таким образом, чтобы она не превысила свое номинальное значение, то есть $T_l/\tau \leq 70^\circ\text{C/ч}$ и так до охлаждения последнего в ряду слитка до температуры 300°C . После этого скорость воздуха, а следовательно скорости охлаждения увеличиваются до максимально возможного значения, поскольку при достижении температуры последнего в ряду слитка до величины 300°C эффекта закаливания алюминия, а следовательно потери качества не наступает.

С целью проверки правильности предлагаемого метода было проведено аналитическое исследование регулируемого конвективного теплообмена в камере охлаждения при переменной скорости воздуха W , м/с для слитка диаметром $d = 0,24$, м с высотой канала $\delta = 0,1$ м, результаты которого приведены на рис. 2.

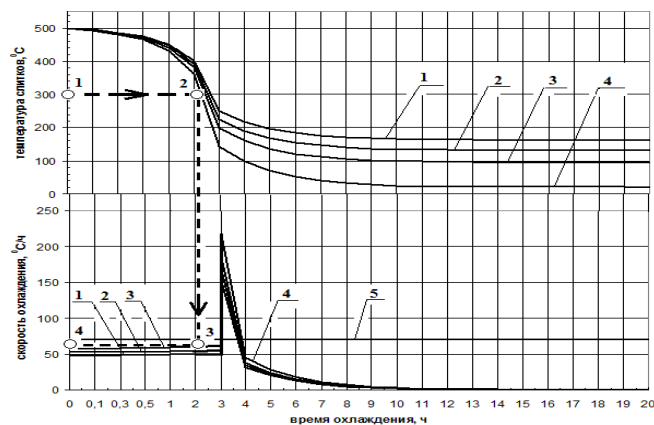


Рис. 2. Зависимость температуры и скорости охлаждения слитков от времени охлаждения, $d = 0,24\text{ м}$, $\delta = 0,1\text{ м}$ при переменной скорости воздуха W (1,2,...,8 – номера слитков)

График изменения температур и скорости охлаждения слитков, подтверждает влияние переменной скорости охлаждающего воздуха W , м/с на скорость охлаждения слитков T/τ , $300\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ и время охлаждения τ , ч. Поддержание расчетной скорости воздуха при охлаждении слитков до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет выдерживать скорость их охлаждения, не приводящую к их закалке и тем самым повышать выработку качественной продукции. Увеличение скорости воздуха до максимальной после охлаждения слитков ниже $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет существенно ускорить процесс охлаждения.

Список используемых источников

1. Горшенин А. С. Математическое моделирование теплообмена при охлаждении ряда алюминиевых слитков // Вестник СГАУ. 2012. № 2 (33). С. 179-183.
2. Горшенин А. С. Математическая модель охлаждения алюминиевого слитка после гомогенизационного отжига // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании : материалы междунар. науч.-практ. конф. // Одесса: Одесский нац. морской ун-т. Одесса, 2011. С. 3-5.

УДК 691.3

Екимовская А. В., Доманская И. К.
Уральский федеральный университет
i.k.domanskaya@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ ЖИДКОСТЕКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Аннотация. Дана сравнительная характеристика влияния порошкообразных техногенных материалов: золы-уноса, феррохромового шлака и измельченного стеклобоя на сроки схватывания и прочность затвердевших жидкостекловых композиций. Показана целесообразность применения комбинированных наполнителей, содержащих до 50 % феррохромового шлака. Это позволяет в 1,5-